

分塊ロール用材料の開発に関する研究

著者	鈴木 克己
号	246
発行年	1975
URL	http://hdl.handle.net/10097/11195

氏 名	すずき かつみ 鈴 木 克 己
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 5 0 年 5 月 7 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 3 4 年 3 月 東北大学大学院理学研究科物理学専攻修士課程修了
学 位 論 文 題 目	分塊ロール用材料の開発に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 須藤 一 東北大学教授 大平 五郎 東北大学教授 田中英八郎 東北大学教授 島田 平八

論 文 内 容 要 旨

要 旨

鋼の加工工程の第一段階である分塊圧延には、直径 1 m 以上長さ約 5 m 単重約 40 トン におよぶ巨大なロールが使用されているが、作業中これが折損することは珍しくなく、生産性の向上のうえから大きな問題とされてきた。

本論文は折損しがたいロールを開発することを主たる目的として行われた研究成果をまとめたものであり、全編7章よりなっている。

第一章は緒論である。約 150 本の廃棄された分塊ロールについて廃棄原因を調査し、 60% 以上のロールが折損により廃棄され、極限の直径まで使い切ったものは全体の 10% に過ぎないことを明らかにした。また耐折損性に優れたロール材を開発するための研究方針を設定するには、対象が超大型铸件であることから、折損に関する予備調査を充分に行い、材料特性と折損の関係

についての知見を深めた上で、開発研究に着手すべきことを明らかにした。

第二章はロールの肉眼および電子顕微鏡によって、折損状況を調べた結果について述べたものであり、次の点を明らかにしている。

- (1) ロール表面には細かい熱き裂の他に、少数の内部に深く伸びたき裂があり、これが進展し有効断面積が少なくなり折損している。折損破面を見ると、き裂がゆっくり進行したと思われる腐食した部分、通常の波れき裂と思われる滑らかな部分、および切欠き破断した粗い部分からなっている。
- (2) 全破面の中で最終的に破断した粗い破面の占める割合が少ないほど、ロール寿命は長くなる。いいかえれば臨界応力拡大係数 K_{Ic} が大きいロールほど寿命が長くなることを示すもので、このことから耐折損性を高めるには K_{Ic} の大きい材料すなわち粘い材料ほど好ましいと考えられた。
- (3) 各種分塊ロール破面のマクロ的に区別される部分について、電子顕微鏡および走査型電子顕微鏡で観察して、変色した部分と滑らかな部分にはストライエーションが見られ、疲れにより破壊が進行したこと、粗い破面にはデインプルパターン、リバーパターンが認められかなり脆性的に破壊が進行したことを明らかにした。
- (4) ロール表面には多くの熱き裂があり、これらの一部が円周方向の深いき裂に発達することから、ヒートチェックがもとになって発生した主き裂から疲れき裂の伝播が重要な役割を占めていることを明らかにした。

第三章では作業中のロールの内部温度を測定し、これから熱応力の分布を計算で求めた結果を示した。すなわち

- (1) 現在行われている圧延スケジュールの中で、熱応力的に最も苛酷と考えられる、注水、無注水組合わせ圧延スケジュールを設定し、この条件でのロール温度分布および熱応力分布を調べてロールに生ずる最大の熱応力は $\pm 20 \text{ Kg/mm}^2$ 以下で、無注水圧延後の注水圧延時にロール表面部の引張熱応力は、ロールのごく表面を除けば 7 Kg/mm^2 以下であることがわかった。
- (2) き裂の発生伝播状況は次のように考えられた。すなわち、ロールの1回転を周期とする短周期熱サイクルはロールの極く表層部に作用し、まずこの部分に熱き裂が発生する。10 mmより内部に入ったき裂は、回転曲げ疲れ、衝撃疲れき裂となるが、表面から16 cmまでは圧縮熱応力が優先しこの付近まではき裂の伝播は抑制される。16 cm～25 cmの部分は、引張、圧縮熱応力が共に作用し、この大きさが小さいので、き裂伝播速度は速くない。しかし25 cmより内部に入ると引張熱応力が優先するのでき裂の伝播速度が速くなる。
- (3) 折損破面には腐食した部分が見られるが、この部分は圧縮熱応力の存在する位置に、またこれに続く滑らかな破面の位置は、引張応力が作用する位置に当たると考えられた。

第四章では、従来使用されている各種分塊ロールから採取した試験片を用いて、常温および高温での静的、動的試験、疲れ試験、熱疲れ試験を行って従来鋼種のうちいずれの鋼種を基本成分として改良を加えるべきかを明らかにした。試験結果を要約すると次のとおりである。

- (1) ロールが圧延時うける熱・荷重サイクルを試験機の実力の可能な範囲でシミュレートした荷重組合わせ熱疲れ試験によって、熱疲れ強さを調べた結果、Ni-Cr-Mo 鋳鋼SNIがCr 鋳鋼SCR、延性鋳鉄DCより優れていることがわかった。
- (2) 平滑材と切欠き材の常温および高温における回転曲げ疲れ試験を行った結果Ni-Cr-Mo 鋳鋼SNIは切欠き材の疲れ強さが最も強く、切欠き係数 β が最も低く、切欠き感受性の点からこの種の材料が最も優れていると考えられた。
- (3) 常温および高温の引張試験および衝撃試験から、伸び、絞りおよび衝撃エネルギーはNi-Cr-Mo 鋳鋼SNIが最も大きいことがわかった。

これらの結果より従来のNi-Cr-Mo 鋳鋼SNIを基本成分とし、これに改良を加えて、熱き裂の大きさを小さくし、切欠き靱性、疲れ強さを高めれば従来材より耐折損性に優れたロール材ができるという結論に達した。

第五章ではNi-Cr-Mo 鋳鋼の諸特性に及ぼすNi, Cr, Mo, V, Nbの効果を調べ、ロール材としての特性すなわち、切欠き靱性、疲れ強さ、耐熱き裂性、硬さが優れ、価格的に問題がない組成を求めた。この実験により以下の点を明らかにした。

- (1) Ni-Cr-Mo 鋳鋼SNIに、鑄造組織の微細化、炭化物の安定化、基地の強化、析出硬化、焼もどし抵抗の強化などを計るため、Ni, Cr, Mo, V, Nbを添加し優れた成分系を求めると共に各元素の機械的性質に及ぼす主効果および交互作用を明らかにするために、各成分の配合量を2水準とすることにして、 $L_{16}(2^{15})$ の直交配列表に割りつけこれら組成のものと標準材として従来のSNI相当のものを標準成分として、20Kgの真空溶解炉で溶製し、拡散、球状化、焼なましを行って各種試験片を採取して試験を行った。
- (2) 臨界応力拡大係数Kcは靱性とかなり良い相関があるのでこれらの値が大きいことが必要であり、この意味から引張強さを横軸にとり、伸び、絞り、衝撃エネルギーを縦軸にとって、強さと粘さを判定した結果靱性の優れたものは、

(イ) 1.25%Cr-1.0%Ni-0.5%Mo-0.4%V …… No. 4 材

(ロ) 1.25%Cr-2.0%Ni-0.5%Mo-0.2%V …… No. 10 材

(ハ) 1.25%Cr-2.0%Ni-1.0%Mo-0.4%V …… No. 16 材

の3成分系でこれらはいずれも疲れ強さ、硬さが従来材より優れておりコストを考えるとNo. 4材すなわち

1.25%Cr-1.0%Ni-0.5%Mo-0.4%V

鋼が有利であると考えられた。

- (3) No.4 材の臨界応力拡大係数が従来材に比べ優れているかどうかを確かめておく必要があると考え、実際のロールの切欠き不安定破壊は繰返し回転曲げの状態で起こるので、これをシミュレートする意味で回転曲げ疲れ試験を行い、公称曲げ応力と不安定曲げ破面へ遷移するときの疲れき裂の関係から、回転曲げ破断における破壊靱性値 K_f を求めた。この結果No.4 材の方が従来材より K_f 値が曲げ応力 $1.6 \text{ Kg/mm}^2 \sim 3.7 \text{ Kg/mm}^2$ の間で $1.3 \sim 1.6$ 倍大きく、その値はNo.4 材で $710 \sim 330 \text{ Kg/mm}^{\frac{3}{2}}$ 従来材で $430 \sim 250 \text{ Kg/mm}^{\frac{3}{2}}$ であり、従来材よりNo.4 材の方が切欠き靱性が高いことがわかった。

- (4) 小型試験片における K_f 値と、実際のロールにおける K_f 値を計算しようと試みた。この結果次の点が明らかになった。

圧延作業中のデーターから折損時の曲げ応力がわかり、疲れき裂の入り具合は破面の模様からわかるので、原理的には実体ロールの K_f 値は計算できるはずである。しかし疲れき裂が偏心しているため、この場合の計算式はまだ公表されておらず、若干の近似計算を行ったところ、近似の立て方によって約7倍の差があり、定量的な検討を行うことはできないと考えられた。以上の結果からNo.4 の組成の鋼は耐折損性の高い鋼種として有望であると決定した。

第六章ではNo.4 材で実際の超大型ロールを作り、これを別途調査した熱処理条件によって、拡散焼なまし、球状化焼なまし、オーステナイト化処理および焼なまし処理を行い、これより試験片を採取して従来材と比較した。また製造したロールを実際の分塊工場で使用しその耐折損性、耐摩耗性、耐ヒートチェック性について追跡調査を行い、次の点を明らかにした。

- (1) このロール材は従来材に比べ衝撃エネルギーは2～3倍、引張強さは $10 \sim 30 \text{ Kg/mm}^2$ 高く、硬さはヴィッカース硬さで $10 \sim 50$ 高く、疲れ強さは 100°C 、 10^6 回強さで 9 Kg/mm^2 高くなっている。
- (2) 使用中または廃棄後このロールに生じた熱き裂は、細かくて浅く、深く大きな円周方向のき裂は認められず、この点が最も顕著な特徴であった。
- (3) 従来ロールの累計圧延トン数は30万トンであったが本ロールは、最高87万トン、平均80万トン圧延しなお折損のおそれなく、大型型鋼ロールに改造して使用している。また耐摩耗性の点でも、本研究開始の動機となった工場においては、従来材の1.5倍以上になっており、これらの成果から当初の研究目標は完全に達成された。

第七章においては、本研究の結果を総括した。

審 査 結 果 の 要 旨

鋼の加工工程の第1段階である分塊には、直径1 m以上、長さ約5 mの巨大なロールが使用されているが、作業中にこれが折れることは珍しくなく、生産性の点からロールの折損は大きな問題とされてきた。本論文は折損しがたいロールを開発するために行われた研究をまとめたものであり、7章よりなる。

第1章は緒論である。60%以上のロールが折損のため廃棄されている事実を示すとともに、研究対象が超大型鋳物であることから、破壊の原因やその過程を予め充分調査、検討しておくことが、研究目的を達成するうえに有益であるなどの考えを述べている。

第2章では折損ロールの観察結果を述べている。ロール表面には細かい熱き裂のほか粗く深いき裂があり、その一部に連なる折損破面は、き裂伝播速度が小さかったと思われる腐食領域、疲れ破面と思われる滑らかな領域、および粗い脆性的破面からなっているが、これらの各部分を電子顕微鏡により観察し、破壊原因とその過程を推測している。

第3章では、作業中のロールの内部温度を測定し、熱応力分布を求めている。そして表面近傍の腐食破面の深さは、時間的に圧縮熱応力が優先的に作用していた領域の深さに相当し、これに続く典型的疲れ破面の位置では引張熱応力が作業中優先的に作用していたと結論している。

第4章では、各種のロールから採取した試験片を用い室温から高温にいたる各温度で静的試験、衝撃試験、疲れ試験、熱応力割れ試験などを行い、それらの結果とロール寿命の関係を金属組織学的に検討している。そして、本研究目的に沿う新材料の基本鋼種としては、Ni-Cr-Mo 鋳鋼がもっとも有望であろうと判断している。

第5章では、Ni-Cr-Mo 鋳鋼の機械的性質に及ぼすNi, Cr, Mo, V, Nbの効果を調べ、ロール材料としての総合的評価を行った結果、1.25%Cr-1.0%Ni-0.5%Mo-0.4%Vなる組成がもっとも優れていると判断し、また各合金元素の役割を論じている。

第6章では、上記の組成のロールを製造し、これから試験片を採取して破壊靱性試験などの機械的試験と組織観察を行い、大型鋳物とした場合に懸念される質量効果の点でも、新材料は従来のものより明らかに優れていることを確かめ、さらに生産現場における5本のロールの追跡調査を行い、過去の実績の4倍以上である80万トンの鋼塊を圧延した後でも、折損の原因になるような深いき裂は全く発生せず、耐摩耗性も優れていることを確認している。その後多数のロールが使用されたが、折損の事例は報告されていないという。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は折損しがたい分塊ロールの開発を金属組織学的立場に立って進めた経緯をまとめたものであり、従来研究例の少なかった超大型鋳物の組織と強度あるいは破壊に関して有益な知見を得ており、金属工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。